沙冬青根瘤菌的抗逆性

何恒斌¹ 贾昆峰² 贾桂霞^{1*} 丁 琼³

(1 北京林业大学林木花卉遗传育种重点实验室, 国家花卉工程技术中心, 北京 100083)

(2 内蒙古乌拉特后旗林业局, 乌拉特后旗 015500) (3 中国科学院植物研究所数量植被生态学重点实验室, 北京 100093)

摘 要 沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)是西北荒漠地区珍稀常绿阔叶灌木,综合沙冬青分布区内气候、土壤和水分等因子,选取宁夏中卫县沙坡头、内蒙古磴口县、内蒙古阿拉善左旗、内蒙古乌拉特后旗作为样区,于2004年4月中下旬沙冬青的花期调查和收集根瘤,并结合地理环境对分离得到的根瘤菌进行抗逆性初步分析。调查发现根瘤的生成及其在宿主植物上的着生部位、大小、形状、颜色等因生境条件的不同而有所差异,水分是其主要的影响因子;分离得到根瘤菌17株,对其耐盐性、耐酸碱性、生长温度范围和抗生素抗性进行了研究。结果表明,64.7%的菌株可以在含3%NaCl的YMA培养基上生长;94.1%的菌株可以在pH 5~11的范围内生长;全部菌株在60℃处理10 min后仍能生长;不同菌株对不同抗生素表现出不同的抗性,ZW₄和WH₄¹对各抗生素表现出较强的抗性。分离自磴口县的根瘤菌普遍表现出较强的抗酸碱和抗高温的能力,这是对其环境的适应。本研究证明沙冬青根瘤菌具有较强的抗逆性,但菌株间存在差异,这可能是对沙冬青分布区多种景观生态类型的适应。同时测定了几种伴生植物中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*)、猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)和柠条(*Caragana corshinskii*)根瘤菌的抗逆性,与沙冬青根瘤菌表现出一定的相似性,具较强的抗逆性,说明生态环境对豆科植物-根瘤菌共生体有重要的影响。沙冬青的高抗性可能与沙冬青根瘤菌的高抗性有关。沙冬青与其根瘤菌的共生关系有利于其植物群落的发育和多样性的维系。

关键词 沙冬青 根瘤菌 抗逆性 生态环境 高抗性

A PRELIMINARY STUDY ON THE STRESS RESISTANCE OF RHIZOBIA ISOLATED FROM AMMOPIPTANTHUS MONGOLICUS

HE Heng-Bin¹ JIA Kun-Feng² JIA Gui-Xia¹ and DING Qiong³

(1 Laboratory of Genetics and Breeding of Trees and Flowers, National Engineering Research Center for flowers, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

(2 Forestry Bureau of Wulatehouqi County, Wulatehouqi, Inner Mongolia 015500, China)

(3 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract *Ammopiptanthus mongolicus* is an endangered evergreen broad-leaf species in the northwest desert zone of China. Shapotou, Alashanzuoqi, Dengkou and Wulatehouqi were defined as research regions based on soil, water and other ecological factors. Nodules of *A. mongolicus* were collected during the last twenty-days of April, which was the flowering period of the host, and their characteristics were studied. The resistance of rhizobia isolated from *A. mongolicus* also was studied in relation to environmental factors of the distribution areas. Seventeen rhizobia strains were isolated from *A. mongolicus*. It was found that nodules had various attachment modes, sizes, shapes and colors, which were related to differences of their environment, of which water may be the most important determinant. Several biochemical characteristics were determined, including resistance to salt, acid-alkali, temperature variation and intrinsic antibiotics. The results indicated that 64.7% strains could tolerate NaCl stress at 3% concentration, 94.1% strains could grow at a range of pH from 5–11, and all strains could grow after being exposed to 60℃ for 10 min. Differences in resistance to different intrinsic antibiotics existed among strain ZW₄, and WH₄¹ had high a resistance to different intrinsic antibiotics. Rhizobia strains from Dengkou had higher resistance to acid-alkali conditions and temperature. These results indicated that rhizobia strains isolated from *A. mongolicus* were highly resistant to stresses. However, there were differences among strains in their resistance to stresses, which might be related to adaptations of rhizobia to the diverse landscapes in different regions. Resistances of rhizobia strains isolated from accompanying plants, for example, *Caragana corshinskii*, *Caragana intermedia* and *Oxytropis aciphylla*, also

were studied, and the results indicated that they also were highly resistant to stresses similar to the rhizobia strains isolated from *A. mongolicus*. These results indicated that the symbiosis between rhizobia and legumes was influenced by their environment. The high resistance of *A. mongolicus* may be related to the high resistance of its rhizobia, and that the symbiotic relation was beneficial to the development and maintenance of its community in diverse landscapes.

Key words *Ammopiptanthus mongolicus*, Rhizobia, Resistance, Eco-environment, High resistance

根瘤菌是与豆科植物结瘤的共生固氮细菌的总称。目前已知能够与豆科植物结瘤的细菌约有 40 个种, 均为革兰氏阴性细菌, 属于细菌域(Bacteria)、变形杆菌门(Proteobacteria)。根瘤菌与豆科植物形成的根瘤或茎瘤固氮共生体系在农、林、牧业的可持续发展中具有重要作用。在全世界已知的约 650 属 19 000 多种(Allen & Allen, 1981)豆科植物中, 只有约 15% 的种做过结瘤的调查研究, 其中 0.3% ~ 0.5% 研究过共生关系(Rao Subba, 1999)。对豆科植物与根瘤菌共生关系的认识还不完善。100 多年前, 在根瘤菌研究的起始阶段, 人们提出的“宿主专一性”及“互接种族”两个概念一直流传至今。20 世纪 40 年代, 有学者根据实验室内豆科植物的交叉结瘤结果否定过“互接种族”的观念, 70 ~ 80 年代又发现某些根瘤菌在实验室条件下有广谱共生现象。但根瘤菌与豆科植物共生体与地理环境的关系却很少被涉及过。

沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)是生长在西北荒漠地区的常绿阔叶灌木, 为第三纪孑遗种, 被国家列为首批重点保护的珍稀濒危植物(刘果厚, 1998)。沙冬青是优良的固沙植物, 具有抗热、抗旱、抗寒、耐盐碱、耐贫瘠、耐沙埋、抗风蚀等特性(中国植物志编辑委员会, 1998), 且地上部分分枝多, 冠幅较大, 阻沙能力强。正因为沙冬青具有这些优良特性, 不少学者对沙冬青的植物群落、濒危原因、抗逆生理、生理生态、超微结构等方面做了大量的研究(刘家琼等, 1995; 王庆锁等, 1995; 周宜君等, 2001; 陈曦等, 2002)。沙冬青作为一种豆科植物与根瘤菌建立共生关系, 在西北荒漠地区缺水少氮的环境条件下, 这种共生关系对沙冬青的生长发育、优良性状的形成及其生物群落的发育和多样性的维系具有重要作用。我们在沙冬青的分布区内综合各种生态因子, 选取 4 个样区对沙冬青根瘤菌进行了资源调查和收集, 并结合地理环境对其抗逆性初步分析。

1 材料和方法

1.1 根瘤菌的资源调查和收集

综合分布区内气候、土壤和水分等条件, 我们选

定宁夏中卫县沙坡头(37°32' N, 105°02' E)、内蒙古阿拉善左旗(37°24' ~ 41°52' N; 103°21' ~ 106°51' E)、内蒙古磴口县(40°13' N, 107°05' E)、内蒙古乌拉特后旗(41°43' N, 106°22' E) 4 个地区进行固定采样, 并根据样区内的地形和土壤等条件选取采样点。将沙冬青和其豆科伴生植物的根系挖出, 收集根瘤, 编号; 并记录采样时间、地点、生态植被、土壤类型、水分条件等。

1.2 根瘤菌的分离

根瘤菌的分离和纯化采用的培养基为 YMA 培养基, 参照陈文新等(2004)的方法加以配制。分离纯化参照 Chen 等(1991)的方法。分离得到的菌株保存于超低温冰箱中备用。

1.3 根瘤菌的回接

将经过活化的根瘤菌菌株制成菌悬液倒入培养皿中, 将沙冬青发芽的种子在其中浸泡 30 ~ 45 min, 后植入装有沙冬青培养基质的容器中, 并定时施加菌悬液。

1.4 抗逆性测定

1.4.1 耐盐性测定

将试验菌株进行活化培养, 将培养的菌株在含有 NaCl 的平板上划线, NaCl 的最终浓度依次为 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 以含 0.01% NaCl 的 YMA 划线平板作为阳性对照, 28 °C 培养观察 3 ~ 5 d, 生长记为“+”, 不生长记为“-”。

1.4.2 耐酸碱性测定

高压灭菌的 YMA 培养基用 HCl 和 NaOH 调节 pH 值, pH 值依次为 3.0、4.0、5.0、6.0、8.0、9.0、10.0、11.0、12.0, 以 pH7.0 的划线平板作为阳性对照, 培养, 观察记录同上。

1.4.3 生长温度范围测定

将供试菌株接种于 YMA 培养基上, 分别在 4、12、20、37、45 °C 下进行培养; 分别将菌株在 50 和 60 °C 下处理 10 min 后, 在 28 °C 下培养。以 28 °C 的 YMA 划线平板为阳性对照, 观察 7 ~ 10 d, 记录同上。

1.4.4 抗生素抗性测定

选取卡那霉素(Km)、氨苄青霉素(Amp)、氯霉

素(Cm)和四环素(Tc) 4 种抗生素,每种抗生素 4 个浓度:5、50、100 和 300 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 。将各种浓度的抗生素溶液过滤灭菌后,分别加入到高温灭菌后的 YMA 培养基中,制成平板,然后进行供试菌株的划线接种。以不含抗生素 YMA 培养基作为阳性对照,28 $^{\circ}\text{C}$ 培养 7 d,观察记录同上。

以上每个处理均 3 次重复,参比菌株(CAN)由中国农业大学提供。

2 结果与分析

2.1 结瘤调查和根瘤特性

调查发现,根瘤在降雨量相对较多的沙坡头和

地下水位较高的磴口比较容易采到;大部分根瘤采于沙冬青的开花期 4 月下旬,7 月份根瘤已全部消解。

根瘤的形状多种多样,以杆状最多,还有圆形、椭圆形、珊瑚状和姜状;大小 1~15 mm 不等;颜色一般为淡黄色或褐色。根瘤多见于侧根和须根,少见主根;主要集中于 10~50 cm 的土层。

2.2 根瘤菌回接结瘤情况

对采集的根瘤进行分离纯化,得到沙冬青根瘤菌菌株 17 个,沙冬青豆科伴生植物柠条(*Caragana korshinskii*)菌株 2 个,锦鸡儿(*C. intermedia*)菌株 1 个,猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)菌株 1 个(见表 1)。

表 1 试验菌株采集地点及参比菌株来源
Table 1 Sampling places of the experimental strains and the source of the reference strain

菌株号 Strains number	宿主名 Host	采集地点 Sampling places	地形及土壤 Terrain and soil
DK ₁ ¹	沙冬青 <i>Ammopiptanthus mongolicus</i>	磴口 Dengkou	平坦风蚀沙地,风沙土加粘土 Wind erosion moving sand, windy sand soil and clay
DK ₁ ²	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	磴口 Dengkou	平坦风蚀沙地,风沙土加粘土 Wind erosion moving sand, windy sand soil and clay
DK ₄	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	磴口 Dengkou	盐渍化滩地,粗砾质风沙土 Saline – alkaline land, windy stone – sand soil
DK ₅	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	磴口 Dengkou	洪水冲积沟滩地,粉尘风沙土 Land caused by seasonal floods, windy sand soil
DK ₆	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	磴口 Dengkou	洪水冲积沟滩地,粉尘风沙土 Land caused by seasonal floods, windy sand soil
DK ₈	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	磴口 Dengkou	盐渍化滩地,粗砾质风沙土 Saline – alkaline land, windy stone – sand soil
ZW ₄	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	中卫沙坡头 Shapotou	低山坡地,红土质灰棕漠土 Hillside, grey brown desert soil
ZW ₇	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	中卫沙坡头 Shapotou	低山坡地,红土质灰棕漠土 Hillside, grey brown desert soil
ZW ₈	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	中卫沙坡头 Shapotou	低山坡地,红土质灰棕漠土 Hillside, grey brown desert soil
WH ₁ ¹	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	乌拉特后旗 Wulatehouqi	平坦石质滩地及沙丘,风沙土和红土质灰棕漠土 Flood land and dune, windy sand soil and grey brown desert soil
WH ₁ ²	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	乌拉特后旗 Wulatehouqi	平坦石质滩地及沙丘,风沙土和红土质灰棕漠土 Flood land and dune, windy sand soil and grey brown desert soil
WH ₁ ³	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	乌拉特后旗 Wulatehouqi	平坦石质滩地及沙丘,风沙土和红土质灰棕漠土 Flood land and dune, windy sand soil and grey brown desert soil
WH ₄ ¹	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	乌拉特后旗 Wulatehouqi	平坦石质滩地及沙丘,风沙土和红土质灰棕漠土 Flood land and dune, windy sand soil and grey brown desert soil
WH ₄ ²	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	乌拉特后旗 Wulatehouqi	平坦石质滩地及沙丘,风沙土和红土质灰棕漠土 Flood land and dune, windy sand soil and grey brown desert soil
WH ₆	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	乌拉特后旗 Wulatehouqi	平坦石质滩地及沙丘,风沙土和红土质灰棕漠土 Flood land and dune, windy sand soil and grey brown desert soil
AZ ₁	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	阿拉善左旗 Alashanzuoqi	低山残塬,红土质灰棕漠土 Loess hill, grey brown desert soil
AZ ₂	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	阿拉善左旗 Alashanzuoqi	残存河床,风沙土 Riverbed, windy sand soil
CAN (参 比 菌 株 Reference strain)	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	磴口 Dengkou	购于中国农业大学 Bought from China Agriculture University
WHn	柠条 <i>Caragana korshinskii</i>	乌拉特后旗 Wulatehouqi	平坦石质滩地及沙丘,风沙土和红土质灰棕漠土 Flood land and dune, windy sand soil and grey brown desert soil
WHj	锦鸡儿 <i>C. intermedia</i>	乌拉特后旗 Wulatehouqi	平坦石质滩地及沙丘,风沙土和红土质灰棕漠土 Flood land and dune, windy sand soil and grey brown desert soil
ZWn	柠条 <i>C. korshinskii</i>	中卫沙坡头 Shapotou	低山坡地,红土质灰棕漠土 Hillside, grey brown desert soil
WHm	猫头刺 <i>Oxytropis aciphylla</i>	乌拉特后旗 Wulatehouqi	平坦石质滩地及沙丘,风沙土和红土质灰棕漠土 Flood land and dune, windy sand soil and grey brown desert soil

乌拉特后旗。而乌拉特后旗的调查结果也说明了这一点, 只有在水分条件较好的、由地表径流冲刷形成的冲积沟底和两旁滩地上的沙冬青根系中发现根瘤, 而其它沙冬青的根系中没有或极少着生有根瘤。因此, 在降雨量少、蒸发强烈、气候干燥、热量资源丰富的西北荒漠地带, 高温干旱成为沙冬青群落和微生物生长发育的限制因子。

从不同分布区获得的沙冬青根瘤菌, 不管在耐盐性、耐酸碱性、耐高温性, 还是在抗生素抗性方面, 都表现出了很大的差异性。磴口县地处黄河两岸, 河水冲积形成的滩地和黄河故道有大量盐碱地, 从此生态环境中分离得到的沙冬青根瘤菌具有极强的抗盐性和抗酸碱性。沙冬青分布区夏季地面温度可达 60℃ 以上, 这赋予了沙冬青根瘤菌极强的抗热性, 使其在 60℃ 下处理 10 min 后仍能生长。环境影响表型, 进而导致种群的多样。进一步说明根瘤菌与豆科植物的共生关系因区域地理环境的差异而具多样性(陈文新等, 2004)。沙冬青根瘤菌抗逆性的多样性可能是对相对恶劣的自然环境的一种适应, 是物种生态系统功能正常发挥的有效保障。

从结果可以看出, 虽然沙冬青根瘤菌在诸多抗逆性方面存在着差异, 但是与已有的报道(关桂兰等, 1990, 1991)相比, 沙冬青根瘤菌无论在耐盐性、耐酸碱性、耐高温性, 还是在抗生素抗性方面, 都表现出了极强的抗性。在同一地区内, 沙冬青其伴生植物的根瘤菌在抗盐碱性、抗高温等方面都具有很强的抗性, 与沙冬青根瘤菌表现出了一定的相似性, 这说明生态环境对豆科植物-根瘤菌共生体有重要的影响。

有关根瘤菌抗逆机制已有较多报道。在低渗环境中 *Rhizobium*、*Agrobacterium* 和 *Bradyrhizobium* 的一些菌株在壁膜间隙积累高浓度的葡聚糖, 为细菌提供了调节细胞质体积、渗透压和壁膜间隙离子强度的机制, 而且已有相关基因的报道(Miller & Wood, 1996)。有些根瘤菌在高渗环境中积累甘氨酸、甜菜碱来平衡细胞内外的渗透压。此外, 根瘤菌胞外多糖的合成与渗透调节也密切相关。杨江科等(2001)研究了 pH 对根瘤菌生长状况和结瘤有影响。沙冬青分布区缺水少氮的生境影响宿主与根瘤菌的共生性质。不论是宿主还是细菌, 均经自然选择不断适应干旱环境, 表现出耐盐、耐酸碱、耐高温的特性。沙冬青分布区具有较高的光温生产潜力, 昼夜温差较大, 旱生植物体内积累的碳水化合物较多, 从而为固氮共生体提供了足够的能量。沙冬青根瘤菌较强

抗逆性的分子机理有待进一步研究。

沙冬青与根瘤菌的共生关系对沙冬青的生长发育、优良性状的形成及其生物群落的发育和多样性的维系具有重要作用。根瘤菌与宿主共生, 通过根瘤共生体的固氮作用为宿主提供氮素。近年来的一些研究还表明, 根瘤菌有利于宿主的抗病性和抗逆性的提高: 定殖于植物根部的非病原体土生根瘤菌产生诱导系统性抗性(ISR), ISR 需要茉莉酸(JA)和乙烯介导的信号途径, 用以在远端的叶片组织中诱导保护性的防御反应, 这种形式的防御不涉及致病相关蛋白的积累, 也不需要水杨酸(SA)(Buchanan *et al.*, 2000)。植物抗氧化酶的亚细胞定位表明, 固氮植物根瘤中含有抗坏血酸过氧化物酶(APX)、脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)、谷胱甘肽还原酶(GR)、单脱氢抗坏血酸还原酶(MDHAR)和超氧化物歧化酶(Cu/ZnSOD)等抗氧化酶(Buchanan *et al.*, 2000)。沙冬青分布区的高温、干旱、低温和强光照等环境因子都易导致氧化胁迫, 而沙冬青根瘤中是否同样含有以上抗氧化酶保护沙冬青根系及茎叶部分免受氧化胁迫的破坏, 提高沙冬青抗逆性, 还需进一步的实验证明。沙冬青高抗性与其根瘤菌的高抗性间可能有密切联系, 其相互间的作用机理有待于进一步的研究。

参 考 文 献

- Allen ON, Allen EK (1981). *The Legu minosae, a Source Book of Characteristics, Uses and Nodulation*. The University of Wisconsin Press, Wisconsin, 707 – 727.
- Buchanan BB, Wilhelm G, Russell LJ (2000). *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologists, Rockville, Maryland.
- Chen WX, Li GS, Qi YL, Wang ET, Yuan HL, Li JL (1991). *Rhizobium huakuii* sp. nov. isolated from the root nodules of *As-tragalus sinensis*. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 41, 275 – 280.
- Chen WX(陈文新), Wang ET(汪恩涛), Chen WF(陈文峰) (2004). The relationship between the symbiotic promiscuity of rhizobia and legumes and their geographical environments. *Scientia Agriculture Sinica* (中国农业科学), 37, 81 – 86. (in Chinese with English abstract)
- Chen X(陈曦), Lu CF(卢存福), Jiang XN(蒋湘宁), Wang SS(王沙生) (2002). New progress in the study of plant antifreeze proteins and their genetic engineering. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 24, 94 – 98. (in Chinese with English abstract)
- Delectis Florae Reipublicae Sinecae Agendae Academiae Sinicae Edita(中国植物志编辑委员会) (1998). *Flora Reipublicae*

- Popularis Sinica* (中国植物志), Science Press, Beijing, 395.
- Guan GL(关桂兰), Su Y(苏云), Wang WW(王卫卫) (1990). Hydrogen uptake and nitrogen fixing of nodule leguminous plants in Xinjiang arid area. *Arid Zone Research* (干旱区研究), 7, 9 ~ 14. (in Chinese with English abstract)
- Guan GL(关桂兰), Wang WW(王卫卫), Yang YS(杨玉锁) (1991). *Nitrogen Fixation Biological Resource in Xinjiang Arid Region* (新疆干旱区生物固氮资源). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Han SF(韩素芬), Chen JR(陈景荣), Xie WJ(谢文娟) (1996). Experiment on the inoculation test between rhizobia from woody legumes and four leguminous species. *Forest Research* (林业科学研究), 6, 610 – 615. (in Chinese with English abstract)
- Liu GH(刘果厚) (1998). Study on the endangered reasons of *Ammopiptanthus mongolicus* in the desert of alashan. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), 18, 341 – 345. (in Chinese with English abstract)
- Liu JQ(刘家琼), Qiu MX(邱明新), Yang K(杨), Shi QH(石庆辉) (1995). Studies on the plant community of *Ammopiptanthus mongolicus*. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 15, 109 – 115. (in Chinese with English abstract)
- Miller KJ, Wood JM (1996). Osmoadaptation by rhizosphere bacteria. *Annual Review of Microbiology*, 50, 101 – 136.
- Subba Rao NS (1999). *Soil Microbiology* 4th edn. *Soil Microorganisms and Plant Growth*. USA. Science Publishers Inc., Washington.
- Vincent JM (1970). *A Manual for the Practical Study of Root Nodule Bacteria*. *IBP Handbook* No. 15. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Wang J(王静), Ma YZ(马玉珍), Shi QL(史清亮), Chen WX(陈文新), Cai XM(蔡雪梅) (1999). Study on diversity and particularity of rhizobia resources in Shanxi. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 5, 79 – 84. (in Chinese with English abstract)
- Wang QS(王庆锁), Li Y(李勇), Zhang LZ(张灵芝) (1995). A summary of studies on the rare and endangered *Ammopiptanthus mongolicus*. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), 3, 153 – 156. (in Chinese with English abstract)
- Wang WW(王卫卫), Guan GL(关桂兰), Guo PX(郭沛新), Dong WC(董文彩), Li Y(李颖) (1995). Investigations on the symbiotic nitrogen-fixing resource of legume in Tianshui, Gansu. *Arid Zone Research* (干旱区研究), 12, 7 – 10. (in Chinese with English abstract)
- Yang JK(杨江科), Zhou Q(周琴), Zhou JC(周俊初) (2001). Effect of pH on nodulation of soybean rhizobia from Weifang and Huayunkou soils. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 12, 639 – 640. (in Chinese with English abstract)
- Zhou YJ(周宜君), Liu CL(刘春兰), Feng JZ(冯金朝), Jia XH(贾晓红) (2001). Advances of drought-resistance and frigid-resistance mechanism research on *Ammopiptanthus mongolicus*. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 21, 312 – 316. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 李晓林 责任编辑: 李 敏